
Innovation Management and Operational Strategies

http://www.journal-imos.ir

Innovation Management and Operational Strategies, Volume 1, Issue 4, Page: 310-319

Paper Type: Original Article



Solving a Vehicle Routing Problem under Uncertainty by a Differential Evolution Algorithm

Alireza Salamatbakhsh[1], Reza Tavakkoli-Moghaddam*[2], Ali Pahlevani[3]

[1]Department of Industrial Engineering, Ayandegan Institute of Higher Education, Tonekabon, Iran.

[2]Department of Industrial Engineering, School of Industrial Engineering College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

[3]Department of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Citation:



Salamatbakhsh, A., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Pahlevani, A. (2021). Solving a vehicle routing problem under uncertainty by a differential evolution algorithm. *Innovation management and operational strategies, 1*(4), 310-319.

Received: 03/09/2020	Reviewed: 14/11/2020	Revised: 07/12/2020	Accept: 30/12/2020

Abstract

Purpose: In the real world, because of decreasing the related cost, the vehicles should return to the depot after serving the last customer's location. This paper investigates the problem of the increasing service time by using the stochastic time for each tour such that the total traveling time of the vehicles is limited to a specific limit based on a defined probability.

Methodology: It is proven that classic models in vehicle routing problems (VRPs) belong to the class of NP-hard ones; thus, due to its complexity using exact methods in large-scale problems, a meta-heuristic based differential evolution (DE) algorithm.

Findings: The obtained results indicate the efficiency of the proposed DE algorithm.

Originality/Value: The total travel time is limited to a definite probability percent, and also other constraints (e.g., capacity and time distribution restrictions) are considered while the total cost of the transportation is minimized.

Keywords: Vehicle routing problem, Differential evolution algorithm, Uncertainty.

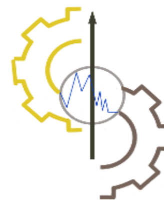
JEL Classificaton: C02, C6.

* Corresponding Author

Email Address: tavakoli@ut.ac.ir

 http://dorl.net/dor/20.1001.1.27831345.1399.1.4.1.6

https://doi.org/10.22105/imos.2021.272652.1034



مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی



نوع مقاله: پژوهشی

حل یک مسئله مسیریابی وسایط نقلیه تحت شرایط عدم قطعیت با الگوریتم تکامل تفاضلی

علی‌رضا سلامت‌بخش[1]، رضا توکلی‌مقدم[2،*]، علی پهلوانی[3]

[1]گروه مهندسی صنایع، موسسه آموزش عالی آیندگان، تنکابن، ایران.

[2] گروه مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

[3]گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۳	بررسی: ۱۳۹۹/۰۸/۲۴	اصلاح: ۱۳۹۹/۰۹/۱۷	پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۰

چکیده

هدف: ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی که تابع هدف آن کمینه‌سازی هزینه وسایل نقلیه و بیشینه‌سازی میزان رضایت رانندگان وسایط نقلیه را از طریق بهینه‌سازی زمان سرویس‌دهی در حالت عدم قطعیت زمان‌های عبوری است.

روش‌شناسی پژوهش: با توجه به دنیای واقعی، میزان درآمد توزیع‌کنندگان رابطه مستقیمی با میزان کالای تحویلی به مشتریان دارد به همین دلیل، شرکت‌های توزیع در تلاش هستند علاوه بر کاهش هزینه حمل‌ونقل با افزایش میزان کالای قابل‌توزیع برای رانندگان رضایت آن‌ها را بیشینه نمایند. در این مقاله، با توجه به آن‌که زمان توزیع کالا توسط توزیع‌کنندگان با توجه به شرایط جوی، ترافیک و خرابی وسیله نقلیه و غیره به‌صورت غیرقطعی است، زمان‌های عبور وسایط نقلیه از مسیرها به‌صورت احتمالی در نظرگرفته می‌شود.

یافته‌ها: نتایج حاکی از آن است که کیفیت جواب‌های حاصل از الگوریتم تکامل تفاضلی با توجه به زمان حل محاسباتی مناسب است.

اصالت/ ارزش‌افزوده علمی: توازن در میزان حمل کالا و توزیع کالا با توجه به زمان عبوری غیرقطعی سود توزیع‌کنندگان را افزایش و منجر به افزایش رضایت آن‌ها می‌شود.

کلیدواژه‌ها: مسئله مسیریابی وسایط نقلیه، الگوریتم تکامل تفاضلی، عدم قطعیت.

طبقه‌بندی JEL: C02، C6.

* **نویسنده مسئول**

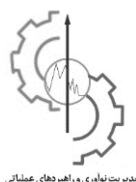
آدرس رایانامه: tavakoli@ut.ac.ir

https://doi.org/10.22105/imos.2021.272652.1034

http://dorl.net/dor/20.1001.1.27831345.1399.1.4.1.6

www.journal-imos.ir

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی، دوره ۱، شماره ۴، صفحه: ۳۱۰-۳۱۹



۱ـ مقدمه

مسئله مسیریابی وسایط نقلیه (VRP) یکی از مسائل شناخته‌شده درزمینهٔ تحقیق در عملیات است که به مجموعه‌ای از مسائل اطلاق می‌شود که در آن ناوگانی متشکل از چندین وسیله نقلیه از یک یا چند قرارگاه به ارائه خدمت به مشتریان مستقر در نقاط مختلف جغرافیایی می‌پردازند و این امر را به نحوی انجام می‌دهند که هزینه‌های آنجا این کار به حداقل برسد. وسیله نقلیه با شروع از قرارگاه مرکزی پس از ارائه خدمت به مشتریان به قرارگاه بازمی‌گردد. هر وسیله دارای ظرفیت معینی است و همه مسیرهای مربوطه از مبدأ (قرارگاه مرکزی) شروع و به آن ختم می‌شوند. تابع هدف مسئله می‌تواند به‌صورت برآورده شدن تقاضای مشتریان و ارائه خدمات با حداقل تعداد خودرو و حداقل مسافت طی شده تعریف گردد. از طرفی حداکثر زمان در دسترس برای طی مسیر و ارائه خدمت مشخص است. وجود ظرفیت، حداکثر زمان ارائه خدمت، نوع خدمت ازجمله توزیع یا جمع‌آوری، تنوع وسایل نقلیه و غیره می‌توانند بر پیچیدگی این مسئله بیفزاید. این مسئله برای اولین بار توسط دنتزیگ و رامسر[۱] ارائه گردید و بر اساس روش‌های ریاضی به حل آن پرداخته شد.

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده در ادبیات موضوع، تحقیقات قابل‌توجهی درزمینهٔ توازن توزیع کالا در میان توزیع‌کنندگان به‌منظور افزایش رضایت رانندگان انجام‌نشده است. از تحقیقات انجام‌شده می‌توان به مقاله‌ی لی و یونگ[۲] اشاره نمود، در این مقاله هدف آن است که با کمینه‌کردن هزینه وسایط نقلیه از یک‌سو و از سوی دیگر، توزیع‌کنندگان از طریق کاهش احتمال افزایش زمان سرویس میان مشتریان، افزایش یابد. ضمن آنکه جوزفین و همکاران[۳] در خصوص کمینه نمودن مسافت بین کوتاه‌ترین و طولانی‌ترین مسیر طی شده تحقیقاتی ارائه نمودند ولی تمام پارامترها را در آن مقاله به‌طور ثابت در نظر گرفتند. علاوه بر آن در تحقیقی دیگر، در حل مسئله مسیریابی وسایط نقلیه در حالت دوره‌ای به‌منظور نزدیک‌تر شدن به دنیای واقعی ریبرو و رامالینیهو دیاز لورنزو[۴] (۲۰۰۱) مدلی به‌منظور توازن بین حجم کالا و تعداد وسایط نقلیه ارائه دادند ولی به دلیل پیچیدگی حل مسئله روش ابتکاری به‌منظور حل مدل پیشنهادی ارائه ندادند. همچنین، مدان و همکاران[۵] (۲۰۱۰) نیز با ارائه یک الگوریتم ابتکاری به کمینه‌سازی زمان کل سفر با اعمال زمان استراحت برای رانندگان برای مسئله مسیریابی وسایط نقلیه با محدودیت پنجره زمانی پرداختند. مدل ارائه‌شده دریکی از شرکت‌های تحویل بار در جنوب غرب انگلستان به کار گرفته‌شده و ضمن کاهش مصرف سوخت مصرف‌کنندگان میزان درآمد آن‌ها را حداقل ۵ درصد افزایش داد.

به دلیل عدم قطعیت در زمان سرویس‌دهی رقبا به مشتریان (ترافیک، اوضاع جوی و...)، یکی از چالش‌های اساسی در توزیع کالا برای رانندگان است. در این مقاله، رویکرد مسئله مسیریابی وسایط نقلیه در حالت عدم قطعیت زمان طی مسیرها به‌منظور بیشینه نمودن سود ناشی سرویس‌دهی به مشتریان با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی احتمالی ـ فازی معرفی می‌شود ضمن آن‌که کمینه‌سازی هزینه‌ی حمل‌ونقل کالا از دیگر اهداف این مقاله است. مسئله مسیریابی وسایط نقلیه یکی از پیچیده‌ترین مسائل بهینه‌سازی ترکیبی است. مدل‌های متفاوتی از مسئله مسیریابی وسایط نقلیه توسعه داده‌شده است اما در اغلب آن‌ها تمامی پارامترها به‌صورت قطعی در نظر گرفته‌شده است (ارا و همکاران[۶]، ۲۰۱۰؛ نووا و استور[۷]، ۲۰۰۹؛ گودسان و همکاران[۸]، ۲۰۱۲) .در این مقاله هدف آن است که مسیرها طوری

---

[1] Dantzig &Ramser
[2] Lee & Ueng
[3] Jozefowiez et al.
[4] Ribeiro & Ramalhinho Dias Lourenço
[5] Maden et al.
[6] Erera
[7] Novoa &Storer
[8] Goodson et al.

طراحی گردند که هزینه حمل‌ونقل وسایط نقلیه حداقل گردد که درنهایت باعث کاهش هزینه‌ها می‌گردد. همچنین با توجه به عدم قطعیت زمان عبوری وسایط نقلیه کمینه کردن هزینه مسیرها و بالانس توزیع در کنار هم در نظرگرفته می‌شود.

ثابت‌شده است که مسئله مسیریابی وسایل نقلیه یک مسئله NP-Hard است و استفاده از روش‌های دقیق درمکرد مسائل با ابعاد به نسبت بزرگ نمی‌تواند توجیه‌پذیر باشد به همین جهت، با افزایش ابعاد مسئله بایستی از الگوریتم‌های فراابتکاری به‌منظور حل مسائل استفاده شود (لنسرا و لینوی[1]) به همین دلیل با پیشرفت‌های اخیر در حل این‌گونه مسائل و با در نظر گرفتن مفروضات و محدودیت‌های پیچیده‌تر، روش‌های فراابتکاری همانند الگوریتم ژنتیک، جستجوی ممنوع، سیستم بهینه‌سازی مورچگان و شبیه‌سازی تبرید توسعه داده‌شده است (تاسن و ژن[2]، ۲۰۱۲؛ کواردو همکاران[3]، ۲۰۱۲؛ ریمن و همکاران[4]، ۲۰۰۲؛ لین و همکاران[5]، ۲۰۰۹؛ چناه و راسل[6]، ۱۹۹۶). در این مقاله، به منظور یافتن جواب‌های بهینه در حالت استوار از الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) استفاده خواهد شد. این الگوریتم به دلیل ساختار ساده، اجرای ساده و همگرایی سریع و پایداری، الگوریتم تکامل تفاضلی به یکی از کاربردی‌ترین الگوریتم‌های تکاملی برای بهینه‌یابی طیف بسیاری از مسائل تبدیل‌شده است. الگوریتم تکامل تفاضلی کاربرد فراوانی در حل مسئله مسیریابی وسایط نقلیه دارد. به‌طور نمونه می‌توان به حل مسئله مسیریابی وسایط نقلیه دوره‌ای با در نظرگرفتن چند دپو با احتساب برداشت و گذاشت چندباره کالا و یا مسئله مسیریابی وسایط نقلیه با در نظرگرفتن فازی تقاضا اشاره نمود (داس و ساگانتان[7]، ۲۰۰۱؛ کوناپ و همکاران[8]، ۲۰۱۳). در این مقاله در بخش دوم مدل مسئله ریاضی تعریف می‌شود. در بخش سوم، الگوریتم تکامل تفاضلی استفاده‌شده به‌منظور حل مدل ارائه خواهد شد در بخش چهارم نمونه مسائل حل خواهد شد و در بخش پنجم نتایج عملکرد استراتژی‌های الگوریتم تکامل تفاضلی در حل مدل پیشنهادی بررسی خواهد شد.

بر اساس جنبه‌های شناسایی‌شده از مطالعات مروری ساله مسیریابی وسایط نقلیه و نیز جنبه‌های جدید مشاهده‌شده از مسائل دنیای واقعی، این مقاله به دنبال طراحی و حل مدلی برای مسیریابی وسایط نقلیه با توجه به کسب رضایت توزیع‌کنندگان از طریق ایجاد توازن در توزیع کالا است. یکی از نوآوری‌های این مقاله در نظرگرفتن دو تابع هدف به‌طور هم‌زمان می‌باشد، به همین دلیل، بر اساس مشاهدات واقعی میزان درآمد توزیع‌کنندگان بر اساس میزان توزیع کالاهای آنان تعیین می‌گردد. توزیع‌کنندگان می‌بایست در زمان مشخصی، مقدار مشخصی از کالا را در بین مشتریان توزیع کنند. به همین جهت، به‌منظور کسب حداکثر نمودن رضایت توزیع‌کنندگان مسیرها باید طوری تعیین گردند که تمام توزیع‌کنندگان در مدت‌زمان مشخصی مقدار کالای به‌طور متوسط مساوی را با توجه به ظرفیت وسیله نقلیه در اختیارشان در بین مشتریان توزیع کنند. از سوی دیگر، هر چه زمان توزیع افزایش یابد میزان رضایت توزیع‌کنندگان و هم مشتریان کاهش می‌یابد از همین رو کاهش زمان توزیع یکی دیگر از اهداف این مقاله می‌باشد. به‌منظور بیان مسئله پارامترهای زیر تعریف می‌گردد:

- n: تعداد نقاط (گره‌های) تقاضا (قرارگاه مرکزی در گره $i=0$ قرار دارد).
- d_i: تقاضای مشتری i
- t_i^v: زمان موردنیاز برای ارائه خدمت به مشتری i، توسط وسیله نقلیه **v**

[1] Lenstra, & Rinnooy
[2] Tasan &Gen
[3] Cordeau et al.
[4] Reimann et al.
[5] Lin et al.
[6] Chiang & Russell
[7] Das &Suganthan
[8] Kunnapapdeelert &Kachitvichyanukul

- t_{ij}^{v} : زمان موردنیاز جهت طی سویه (I,j) توسط وسیله نقلیه v
- tv: حداکثر زمان خدمت‌دهی جهت و زمان طی مسیر، توسط وسیله نقلیه v
- nv: تعداد خودروهای در دسترس
- k_v: ظرفیت هر خودرو
- C_{ij}: هزینه سفر (طول فاصله) بین گره‌های i و j
- $p+,p^-$: به‌منظور خطی سازی مدل نشان داده‌شده است.
- X_{ij}^{v} : اگر وسیله نقلیه v سیر بین مشتری i و مشتری j را طی کند، متغیر تصمیم برابر ۱ است. در غیر این صورت، برابر صفر است.

مدل ریاضی VRP پیشنهادی، به‌صورت زیر است:

$$Z_1 : \min \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=1}^{n+1} \sum_{v=1}^{nv} C_{ij} X_{ij}^{v} \qquad (۱)$$

$$Z_2 : \max \sum_{v=1}^{nv} (p_v^{+} + p_v^{-}) / nv - 1$$

$s,t.$

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{v=1}^{nv} x_{ij}^{v} = 1 \quad ; \quad j = 2,\dots,n \qquad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{v=1}^{nv} x_{ij}^{v} = 1 \quad ; \quad j = 2,\dots,n \qquad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ip}^{v} - \sum_{j=1}^{n} x_{pj}^{v} = 0 \quad ; \quad p = 1,2,\dots,n \quad ; \quad v = 1,2,\dots,nv \qquad (۴)$$

$$mes = \frac{\sum_{v=1}^{nv} (\sum_{i=1}^{n} (d_i)(\sum_{j=1}^{n} x_{ij}^{v}) / k_v)}{nv} \qquad (۵)$$

$$(\sum_{i=1}^{n} (d_i)(\sum_{j=1}^{n} x_{ij}^{v}) - mes = p_v^{+} - p_v^{-} \quad \forall \quad v = 1,\dots,nv \qquad (۶)$$

$$\sum_{i=1}^{n} t_i^{v} \sum_{j=1}^{n} x_{ij}^{v} + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} t_{ij}^{v} x_{ij}^{v} \le tv \quad ; \quad v = 1,2,\dots,nv \qquad (۷)$$

$$\sum_{i=2}^{n} x_{i1}^{v} \le 1 \quad ; \quad v = 1,2,\dots,nv \qquad (۸)$$

$$\sum_{i=2}^{n} x_{ij}^{v} \le 1 \quad ; \quad v = 1,2,\dots,nv \qquad (۹)$$

$$\sum_{v=1}^{nv} \sum_{j \in S} \sum_{j \notin S} x_{ij}^{v} \le |S| - r(S) \quad \forall S \subseteq A - \{1\} \quad S \ne \varphi \qquad (۱۰)$$

$$x \in s \qquad x_{ij} \in [0,1] \qquad t_i \ge 0, t_1 = 0 \qquad (۱۱)$$

تابع هدف این مدل پیشنهادی، از دو جزء تشکیل‌شده است که جزء اول تابع هدف به دنبال کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و جزء دوم تابع هدف به دنبال حداکثر ساختن رضایت توزیع‌کنندگان از طریق ایجاد توازن در توزیع کالاها می‌باشد که درنهایت این دو تابع هدف نرمال شده‌اند. محدودیت ۲ و ۳ باعث می‌شود که هر گره تقاضا فقط از یک وسیله نقلیه توزیع‌کننده، خدمت دریافت کند. محدودیت ٤ بیان می‌کند که اگر وسیله نقلیه‌ای به گره‌ای وارد شود

بایستی از آن خارج گردد و به‌این‌ترتیب پیوستگی مسیرها برقرار می‌باشد. محدودیت ٥ بیانگر میانگین نرمال شده امید ریاضی فروش هر یک از وسایط نقلیه می‌باشد. محدودیت ٦ به‌منظور تبدیل معادله غیرخطی به معادله خطی می‌باشد. محدودیت ۷ بیانگر آن است که مجموع زمان سرویس‌دهی در گره‌ها و مدت‌زمان عبور از مسیرها توسط وسایط نقلیه نباید بیشتر از tv باشد در غیر این صورت هم رضایت مشتریان و هم رضایت توزیع‌کنندگان کاهش می‌یابد. محدودیت‌های ۸ و ۹ بیانگر آن هستند که مبدأ و مقصد وسایط نقلیه، دپو می‌باشد. همچنین رابطه ۱۰ مربوط به حذف زیر گردش‌ها است. ذکر این نکته مهم می‌باشد که واریانس اختلاف امید ریاضی فروش هر یک از وسایط نقلیه به‌عنوان تابع هدف دوم Z2 در نظر گرفته‌شده است. به همین جهت به‌منظور، محاسبه واریانس اختلاف فروش وسایط نقلیه ابتدا میزان فروش هر یک از وسایط نقلیه محاسبه می‌گردد و با es نشان داده می‌شود که در رابطه ۱۲ و ۱۳ نشان داده‌شده است.

$$sv = \sum_{i=1}^{n} d_i \sum_{j=1}^{n} x_{ij}^{v} \qquad \forall \quad v = 1,\dots, nv \tag{۱۲}$$

$$es = sv / k_v \tag{۱۳}$$

برای محاسبه واریانس فروش، ابتدا می‌بایست میانگین فروش محاسبه گردد بدین منظور ابتدا هر یک از فروش وسایط نقلیه نرمال می‌شود که از تقسیم فروش وسیله نقلیه v بر ظرفیت وسیله v به دست می‌آید، سپس به‌منظور محاسبه میانگین امید ریاضی فروش وسایط نقلیه، مجموع میانگین‌های نرمال شده امید ریاضی فروش وسایط نقلیه بر تعداد وسایط نقلیه تقسیم می‌گردد که با mes در رابطه ١٤ نشان داده‌شده است. همچنین معادله واریانس امید ریاضی میانگین فروش وسایط نقلیه در رابطه (١٥) و به‌منظور خطی نمودن واریانس و امید ریاضی رابطه (١٦) و قسمت قدر مطلق از متغیرهای P+,P- از رابطه (١٧) استفاده گردید.

$$mes = \frac{es}{nv} \tag{۱۴}$$

$$\sum_{v=1}^{nv} \frac{(es - mes)^2}{nv - 1} \tag{۱۵}$$

$$\sum_{v=1}^{nv} \frac{|es - mes|}{nv - 1} \tag{۱۶}$$

$$\sum_{v=1}^{nv} \frac{es - mes}{nv - 1} = p^{+} - p^{-} \tag{۱۷}$$

۳ـ الگوریتم تکامل تفاضلی

تکامل تفاضلی یک الگوریتم بهینه‌سازی تصادفی و مبتنی بر جمعیت است که برای اولین بار توسط استورن و پرایس[1] ارائه شد و به علت سرعت‌بالا و قدرت خوب آن در حل مسائل و سادگی دارای کاربردهای فروانی در حل مسائل بهینه‌سازی دارد. در این الگوریتم برخلاف سایر الگوریتم‌ها ابتدا عملگر جهش به‌منظور ایجاد جمعیت فرزندان ایجاد می‌شود و سپس عملگر تقاطع بر روی اعضای جمعیت اعمال می‌شود. شبه کد اجرای الگوریتم تکامل تفاضلی در شکل ۱ نشان داده شده است.

---

[1] Storn & Price

شمارشگر تعداد تکرارها را برابر صفر قرار دهید$t = 0$.
به تعدادn_s بردار (اعضای جمعیت)را به وجود آورید و آن را به عنوان اعضای جمعیت اولیه $c(0)$در نظر بگیرید.
تا هنگامی که شرایط خاتمه برآورده نشده‌اند مراحل زیر را انجام دهید:
به ازای هر بردار $x_i(t)$ که عضو مجموعه $c(t)$ است مراحل زیر را انجام دهید:
تابع برازش بردار $f\big(x_i(t)\big)$ محاسبه نمائید.
بردار آزمون $u_i(t)$ را با استفاده از عملگر جهش بوجود آورید.
با استفاده از بردار آزمون $u_i(t)$ بردار فرزند$x'_t(t)$ را با استفاده از عملگر تقاطعی بدست بیاورید.
اگر تابع برازش بردار آزمون$\big(f\big(x'_t(t)\big)$ از تابع برازش والد$\big(f\big(x_i(t)\big)$ بهتر بود آنگاه:

شکل ۱- شبه کد الگوریتم تکامل تفاضلی.
Figure 1- Pseudo-code of differential evolution algorithm.

۱ـ۳ـ عملگر جهش

در الگوریتم تکامل تفاضلی به ازای هر بردار $x_i(t)$ به‌طوری‌که $i = \{1,2, \dots n_s\}$ یک بردار آزمون $u_i(t)$ تعریف می‌شود که از این بردار در عملگر تقاطع به‌منظور ایجاد بردار فرزند $x'_t(t)$ استفاده خواهد شد. به‌منظور اجرای عملگر جهش گام‌های ذیل را اجرا نمایید.

- **گام اول:** برای بردار $\boldsymbol{x_i(t)}$ از اعضای جمعیت فعلی، بردار هدف $\boldsymbol{x_{i_1}(t)}$ از اعضای جمعیت فعلی را طوری انتخاب کنید که $\boldsymbol{i \neq i_1}$
- **گام دوم:** به‌طور تصادفی دو بردار$\boldsymbol{x_{i_2}(t)}$ و $\boldsymbol{x_{i_3}(t)}$ از اعضای جمعیت فعلی را انتخاب کنید به‌طوری‌که $\boldsymbol{i \neq i_1 \neq}$ $\boldsymbol{i_2 \neq i_3}$ و $\boldsymbol{i_2, i_3 \sim U(1, n_s)}$.
- **گام سوم:** بردار آزمون $\boldsymbol{u_i(t)}$ را به‌صورت رابطه ۱۸ تعریف می‌شود.

$$u_i(t) = x_i(t) + \beta\big(\hat{x}(t) - x_i(t)\big) + \beta\big(x_{i_2}(t) - x_{i_3}(t)\big) \qquad (۱۸)$$

به‌طوری‌که $x_{i2,k}(t) - x_{i3,k}(t)$ نشان‌دهنده بردار تفاضل k –اُم است و β عددی مثبت که جهت کنترل اندازه‌ی تغییرات اعمال شونده به بردار هدف است.

۲ـ۳ـ عملگر تقاطع

به‌منظور ایجاد بردار فرزند $x'_t(t)$، از ترکیب گسسته بردار آزمون $u_i(t)$ و بردار والد $x_i(t)$استفاده بر طبق رابطه ذیل استفاده می‌شود.

$$x'_{ij}(t) = \begin{cases} u_{ij}(t) & if\ j \in \varsigma \\ x_{ij}(t) & otherwise \end{cases} \qquad (۱۹)$$

به‌طوری‌که $x_{ij}(t)$ نشان‌دهنده عنصر jـاُم بردار $x_i(t)$ است و ς نشان‌دهنده مجموعه‌ای از نقاط تقاطع است که عملگر تقاطع در آن اعمال می‌شود. در این مقاله، از عملگر تقاطع دوجمله‌ای استفاده‌شده است. اگر n_x نشان‌دهنده تعداد مشتریان یا به‌عبارت‌دیگر تعداد ژن‌های بردار $x_i(t)$ تعریف شود آنگاه نقاط تقاطع ς از میان اعداد مجموعه‌ی

{1,2, … , n_x} به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. درروش دوجمله‌ای، p_r احتمال انتخاب شدن هر ژن از بردار آزمون $u_i(t)$ است. شبه کد الگوریتم عملگر تقاطع دوجمله‌ای در شکل ۲ نشان داده‌شده است.

ژن j^* را از مجموعه {1,2, … , n_x} بطور تصادفی انتخاب کنید و
آن را به مجموعه J اضافه کنید.
پارامتر کنترلی p_r را مقداردهی کنید.
به ازای تمام ژن‌های $j\epsilon\{1,2, … , n_x\}$ مراحل ذیل را تکرار کنید:
اگر p_r > (0,1) یا $J \neq j^*$ باشد:
ژن j_اُم را به مجموعه J اضافه کنید.
پایان (اگر)
پایان (به ازای)
پایان حلقه‌ی تکرار (تا هنگامی که).

شکل ۲- شبه کد الگوریتم عملگر تقاطع.

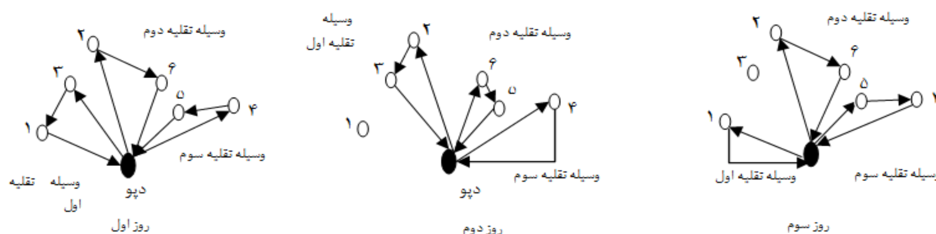
Figure 2- Pseudo-code of the intersection operator algorithm.

مطالعات تجربی نشان می‌دهد $DE/rand/1/bin$ که در آن بردار هدف به‌طور تصادفی انتخاب می‌شود تنوع خوبی در جواب‌ها ایجاد می‌کند و قابلیت خوبی برای همگرایی جواب‌ها دارند. همچنین با توجه به مشاهدات تجربی انجام‌شده پارامترهای الگوریتم $\beta = 0.5$ و $n_s = 200$ و $p_r = .6$ انتخاب‌شده است که دارای عملکرد مناسبی در حل مدل پیشنهادی هستند (کین و سوگانتان[1]، ۲۰۰۵).

۳_۳_ نمایش جواب‌ها

به‌منظور نشان دادن جواب‌ها در مسئله مسیریابی وسایط نقلیه به‌صورت پیوسته جهت حل مدل پیشنهادی توسط الگوریتم تکامل تفاضلی، بردار$x_i(t)$ به‌اندازه $\tau\, n_x$ ژن طوری تعریف نمایید که در آن n_x نشان‌دهنده‌ی تعداد مشتریان است وτ نشان‌دهنده تعداد روزهای سرویس‌دهی است. به ازای هر ژن $j\epsilon\{1, … , \tau\, n_x\}$ یك عدد تصادفی صحیح در بازه$[0, kv + 1 - \varepsilon)$ که نشان‌دهنده‌ی شماره‌ی وسیله نقلیه تخصیصی به مشتری $j-$اُم است در صورتی تخصیص می‌یابد که محدودیت‌های ظرفیت وسیله نقلیه، زمان سرویس‌دهی، ترکیب در روزهای سرویس‌دهی و سایر قیود مسئله رعایت شود، در غیر این صورت مقدار کمتر از یک به مشتری $j-$ اُم تخصیص می‌یابد. برای تعیین توالی عبور وسایط نقلیه از مشتریان به ازای هر ژن در بردار $x_i(t)$ یک عدد اعشاری به مقدار صحیح اضافه می‌شود. با مرتب نمودن مقدار اعشاری تخصیص داده به‌صورت صعودی ترتیب عبور وسیله نقلیه از تور مشخص می‌شود. شکل ۳ نشان‌دهنده نحوه نمایش جواب‌ها برای بردار $x_i(t)$ با ٦ مشتری (ژن) و ۳ وسیله نقلیه و برای ۳ روز سرویس‌دهی نشان داده‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در روز اول تمامی تقاضای مشتریان توسط وسایط نقلیه پاسخ‌داده‌شده است. در روز دوم و سوم مقدار تخصیصی به مشتری اول و سوم به ترتیب برابر ۰/۵ و ۰/۳ است که به معنای آن است که به مشتریان اول و سوم در روزهای دوم و سوم سرویس‌دهی نمی‌شود.

[1] Qin &Suganthan



زمان سرویس دهی	روز اول						روز دوم						روز سوم					
مشتری (ژن)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۱	۲	۳	۴	۵	۶
نمایش جواب به صورت پیوسته	۱/۷	۲/۶	۱/۲	۳/۵	۳/۷	۲/۸	۰/۵	۱/۳	۱/۶	۳/۴	۲/۵	۲/۴	۱/۲	۲/۲	۰/۳	۳/۸	۳/۶	۲/۷
وسیله‌نقلیه تخصیصی به مشتری j ـاُم	۱	۲	۱	۳	۳	۲	–	۱	۱	۳	۲	۲	۱	۲	–	۳	۳	۲

شکل ۳- نحوه نمایش جواب‌ها.

Figure 3- How to display answers.

۴ـ نتایج محاسباتی

در این بخش نتایج حاصل از مدل ریاضی ساخته‌شده ارائه خواهد شد. مدل مزبور توسط برنامه MATLAB7 و بر روی کامپیوتری با پردازنده Intel Dual Core, 2.5 GHz و حافظه داخلی ۱ گیگابایت نوشته‌شده است. به‌منظور بررسی قابلیت الگوریتم ارائه‌شده در ابعاد بزرگ از مجموعه تست‌های کریستوفید و الین[1] استفاده گردید. دریافت مسائل نمونه از سایت neo.lcc.uma.es امکان‌پذیر است. تعداد مسائل نمونه این دسته از مسائل ۱۰ عدد می‌باشد تعداد مشتریان در این مسائل از ۱۱۰ تا ۱۰۱ مشتری در نظرگرفته شده و تعداد وسایل نقلیه بنا به مسئله متفاوت می‌باشد. نتایج محاسباتی حاصل‌شده در جدول ۱ قابل‌مشاهده است. در این جدول ستون اول شماره مسئله نمونه است، ستون‌های دوم و سوم و به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مقدار هزینه حمل‌ونقل به و قسمت دوم واریانس میانگین فروش به‌منظور بهینه‌سازی میزان رضایت مشتریان است، در ستون چهارم زمان برای حل مسئله به روش CPLEX است و ستون‌های پنجم تا هفتم برای محاسبه توابع هدف و زمان حل توسط الگوریتم تکامل تفاضلی است.

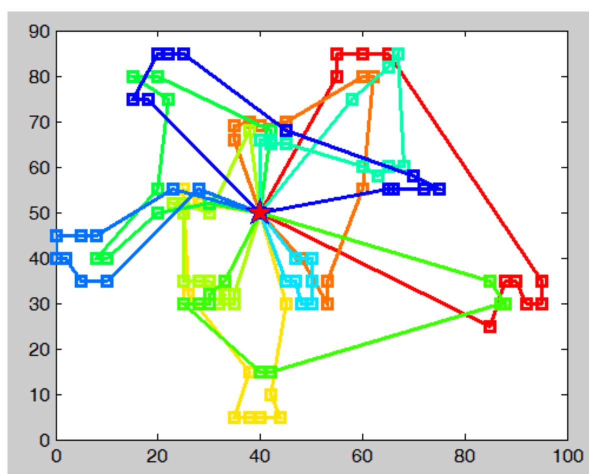
جدول ۱- تابع محاسباتی روش دقیق و الگوریتم تکامل تفاضلی.

Table 1- Computational function of exact method and differential evolution algorithm.

مسائل	روش CPLEX			الگوریتم تکامل تفاضلی		
نمونه	جواب بهینه	واریانس و میانگین فروش	زمان	جواب بهینه	واریانس و میانگین فروش	زمان (ثانیه)
1	1018/3	0/07	10000	1025/5	0/1	425/6
2	2367/3	0/05	10000	2337/6	0/15	429/2
3	3728/8	0/1	10000	3752/4	0/13	642/3
4	4689/1	0/16	10000	4632/6	0/12	658/2
5	1069/5	0/09	10000	1052/8	0/12	701/3
6	6395/4	0/04	10000	6392/3	0/11	754/6
7	3396/2	0/09	10000	3433/5	0/15	603/3
8	3406/6	0/07	10000	3400/6	0/17	853/2
9	7629/3	0/08	10000	7692/7	0/19	836/6
10	6539/6	0/09	10000	6498/3	0/13	776/2
میانگین	4024	0/084	10000	4021/83	0/13	659/0

[1] Christofides & Eilon

در الگوریتم تکامل تفاضلی جواب بهینه الگوریتم تکامل تفاضلی در بیس از ٦٠ درصد مواقع نسبت به حل مسئله در روش CPLEX بهتر عمل کرد و در میانگین واریانس اختلاف میانگین فروش وسایل نقلیه حدود ٠/٠٤ حل توسط روش CPLEX دارای عملکرد بهتری بود. میانگین زمان حل توسط لینگو ١٠/٠٠٠ ثانیه بود ولی در الگوریتم تکامل تفاضلی میانگین زمان حل ٦٥٩ ثانیه برآورد شد که نشان‌دهنده کارایی مناسب الگوریتم تکامل تفاضلی است. برای نمونه جواب تخصیص مشتریان به آن برای مسئله‌ی نمونه سوم که توسط الگوریتم تکامل تفاضلی به‌دست‌آمده است، برای نمونه در شکل ٤ نشان داده‌شده است.



شکل ٤- شبه کد الگوریتم عملگر تقاطع.

Figure 4- Pseudo-code of the intersection operator algorithm.

۵ـ نتیجه‌گیری

به‌طورمعمول، مسئله مسیریابی وسایط نقلیه، به یافتن کوتاه‌ترین مسیرها، با در نظر گرفتن انواع مختلف محدودیت‌ها مانند محدودیت ظرفیت، طول مسیر، پنجره زمانی و غیره می‌پردازد. در این مقاله یک مدل ریاضی توسعه داده‌شده برای مسیریابی مسائل نقلیه هیبریدی ارائه‌شده است که در آن به افزایش رضایت کارکنان توجه گردیده است. علاوه بر این سایر قیود مسئله شامل قیود ظرفیت و زمان توزیع به‌منظور کمینه کردن هزینه حمل نیز موردتوجه قرارگردید. مدل پیشنهادی توسط الگوریتم تکامل تفاضلی حل شد و جواب‌های حاصله با روش CPLEX مقایسه شد. نتایج حاکی از آن است که کیفیت جواب‌های حاصل از الگوریتم تکامل تفاضلی با توجه به زمان حل محاسباتی مناسب است. پیاده‌سازی مدل پیشنهادی با در نظرگرفتن اطلاعات واقعی از یک مطالعه موردی، می‌تواند به‌عنوان یکی از تحقیقات آتی موردتوجه قرار گیرد.

منابع

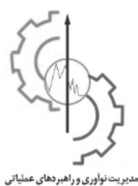
Chiang, W. C., & Russell, R. A. (1996). Simulated annealing metaheuristics for the vehicle routing problem with time windows. *Annals of operations research, 63*(1), 3-27.

Christofides, N., Mingozzi, A., & Toth, P. (1979). The vehicle routing problem. *Combinatorial optimization*. Chichester, Wiley, pp 315–338

Cordeau, J. F., & Maischberger, M. (2012). A parallel iterated tabu search heuristic for vehicle routing problems. *Computers & operations research, 39*(9), 2033-205.

Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science, 6*(1), 80-91.

Das, S., & Suganthan, P. N. (2010). Differential evolution: a survey of the state-of-the-art. *IEEE transactions on evolutionary computation, 15*(1), 4-31.



Erera, A. L., Morales, J. C., & Savelsbergh, M. (2010). The vehicle routing problem with stochastic demand and duration constraints. *Transportation science*, *44*(4), 474-492.

Goodson, J. C., Ohlmann, J. W., & Thomas, B. W. (2012). Cyclic-order neighborhoods with application to the vehicle routing problem with stochastic demand. *European journal of operational research*, *217*(2), 312-323.

Jozefowiez, N., Semet, F., & Talbi, E. G. (2009). An evolutionary algorithm for the vehicle routing problem with route balancing. *European journal of operational research*, *195*(3), 761-769.

Kunnapapdeelert, S., & Kachitvichyanukul, V. (2015). Modified DE algorithms for solving multi-depot vehicle routing problem with multiple pickup and delivery requests. In *Toward sustainable operations of supply chain and logistics systems* (pp. 361-373). Springer, Cham.

Lee, T., & Ueng, J. (2001). A study of vehicle routing problems with load balancing. *International journal of physical distribution and logistics management*, *29*, 646–658.

Lenstra, J. K., & Kan, A. R. (1981). Complexity of vehicle routing and scheduling problems. *Networks*, *11*(2), 221-227.

Lin, S. W., Vincent, F. Y., & Chou, S. Y. (2009). Solving the truck and trailer routing problem based on a simulated annealing heuristic. *Computers & operations research*, *36*(5), 1683-1692.

Maden, W., Eglese, R., & Black, D. (2010). Vehicle routing and scheduling with time-varying data: a case study. *Journal of the operational research society*, *61*(3), 515-522.

Novoa, C., & Storer, R. (2009). An approximate dynamic programming approach for the vehicle routing problem with stochastic demands. *European journal of operational research*, *196*(2), 509-515.

Qin, A. K., & Suganthan, P. N. (2005, September). Self-adaptive differential evolution algorithm for numerical optimization. In *2005 IEEE congress on evolutionary computation*, (pp. 1785-1791).

Reimann, M., Stummer, M., & Doerner, K. (2002). A savings-based ant system for the vehicle routing problem. In *proceedings of the 4th annual conference on genetic and evolutionary computation,* (pp. 1317-1326).

Ribeiro, R., & Ramalhinho Dias Lourenço, H. (2001). A multi-objective model for a multi-period distribution management proble. *SSRN electronic journal*, *1*, 97–102.

Storn, R., & Price, K. (1997). Differential evolution–a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of global optimization*, *11*(4), 341-359.

Tasan, A. S., & Gen, M. (2012). A genetic algorithm-based approach to vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries. *Computers & industrial engineering*, *62*(3), 755-761.

